

DEUTSCHE BAUZEITUNG

MITTEILUNGEN ÜBER ZEMENT, BETON- UND EISENBETONBAU

* * * * *
UNTER MITWIRKUNG DES VEREINS DEUTSCHER PORTLAND-
CEMENT-FABRIKANTEN UND DES DEUTSCHEN BETON-VEREINS

VIII. JAHRGANG 1911.

NO. 6.

Versuche mit Betonsäulen.

Von Professor M. Rudeloff. (Schluß.)

Vortrag, gehalten auf der XIV. Hauptversammlung des „Deutschen Beton-Vereins“ am 14. Februar 1911 in Berlin.

Wie ich bereits besprochen habe, ist durch die in meinem Bericht erörterten Versuche nachgewiesen, daß der Beton an dem zuletzt gestampften, oberen Ende der Säulen weniger dicht ist als an dem unteren, zuerst gestampften Ende, und hiermit ist erklärt, daß der Bruch in der Mehrzahl der Fälle bei den stehend gestampften Säulen am oberen Ende erfolgte und niemals am unteren Ende. Nun zeigen aber die Versuche von Probst, daß auch liegend gestampfte Säulen fast ausnahmslos an einem Ende brechen. Es liegt kein Grund vor zu der Annahme, daß auch bei liegend gestampften Säulen der Beton nach den Enden hin geringere Dichte und Festigkeit besitzt, als in der Mitte. Daher kann der im Materialprüfungsamt festgestellte Unterschied in der Dichte des Betons an beiden Säulen-Enden lediglich als Begründung dafür angesehen werden, daß die Säulen am oberen und nie am unteren Ende brachen, keinesfalls aber dafür, daß die Brüche bei den bewehrten Säulen ebenso wie bei den nicht bewehrten überhaupt am Säulenende eintreten und nicht in der Mitte.

Inzwischen hat nun v. Emperger sich ebenfalls zu dieser Frage geäußert. Er erwähnt in seinem Bericht über die in Stuttgart und Wien ausgeführten Versuche (1908, S. 9), daß ein allgemeiner Fehler bei Säulenversuchen „in der mangelhaften Anordnung der Druckflächen zu suchen“ sei, und empfiehlt, entweder die Last gleichmäßig auf die Längsseiten zu übertragen, oder wenn dies nicht von vornherein zu erreichen sei, so solle man „den Ausgleich durch ein Zwischenmittel besorgen lassen“. Als Zwischenmittel empfiehlt er eine Zementschicht oder eine Bleiplatte. Der eigentliche Ausgleich finde dann in der Höhe der ersten Bügelverbindung statt. Immerhin verbleibe die Gefahr, daß trotz aller Vorsichtsmaßregeln der Bruch am Kopf der Säule eintrete, wo sich naturgemäß eine ungleichmäßige Druckverteilung und der schlechtere Beton befände. — Abgesehen davon, daß die Verwendung einer Bleiplatte als Zwischenlage, wie schon Bauschinger nachgewiesen hat, schädlich wirkt und zu keiner gleichmäßigen Druckübertragung führt, kann ich mich der, wie schon erwähnt, auch von Thullie vertretenen Anschauung nicht anschließen, daß das Brechen der Säulen an den Enden auf mangelhafte Druckübertragung zurückzuführen sei. Ebenso wenig stimme ich mit Probst überein, der die Bruchlage damit zu erklären sucht, „daß die äußeren Kräfte sich zuerst den Enden und dann erst der Mitte mitteilen“. — Meine eigene Anschauung hierüber ist vielmehr die, daß gerade der Bruch am Ende der Säule den normalen Verlauf darstellt, und zwar aus folgenden Gründen:

Aus Druckversuchen mit Würfeln und Prismen ist bekannt, daß bei normalen Druckversuchen sich über den beiden Druckflächen Pyramiden ausbilden, die mit den Spitzen einander zugewendet sind und innerhalb deren das Material nur verhältnismäßig geringe Formänderungen erleidet.

Eine sehr gute Illustration dieses Tatbestandes gibt Abbildung 9. Sie stellt Druckproben aus Rohhaut dar, die bekanntlich durch Aufeinanderleimen von Rohhaut unter hoher Druckbelastung hergestellt werden. Die Proben haben infolge ihrer schichtenweisen Zusammensetzung, natürlich senkrecht zu den Schichten, einen anderen Widerstand gegen Formänderungen, als in der Richtung der Schichten. Beim Druckversuch bilden sich daher keine Druckpyramiden, sondern Druckkeile aus, deren Stirnflächen die Abbildung 9 deutlich erkennen läßt. Betrachtet man nun die Lage der ursprünglich parallelen Schichten, so zeigt sich an den weniger stark zusammengedrückten Proben, daß die Parallelität der Schichten innerhalb der Druckkeile, d. h. innerhalb der von den Schubflächen begrenzten Teile, gewahrt ist.

An Druckproben, die bis zum Bruch belastet sind, gibt sich die geringe Beanspruchung des Materiales innerhalb der Druckkegel darin zu erkennen, daß die Kegel ihren Zusammenhalt bewahren. Besonders interessant tritt diese Erscheinung an gewissen Materialien beim stoßweise ausgeführten Druckversuch, dem sogenannten Stauchversuch unter dem Fallwerk, zutage. Abbildung 10 zeigt eine solche Stauchprobe. Man sieht, wie hier bei einem ursprünglich zylindrischen Körper beim Stauchen ein Kegel sich ausgebildet hat und wie das um den Kegel ringförmig herumgelegene Material zersprengt ist. Ueber die Lage des Kegels will ich hier nur kurz erwähnen, daß seine Spitze beim Versuch in der Regel nach oben gerichtet ist; dagegen möchte ich ganz besonders darauf hinweisen, daß Fälle vorkommen, s. Abbildung 11, bei denen der Kegel, wie in dem hier vorgeführten Bild, sich frei ausbildete, ohne daß der umgebende Ring zersprengt war. Hieraus schließe ich, daß beim Stauchen und daher wahrscheinlich auch beim Druckversuch zuerst der Kegel oder die Pyramide sich auflöst, und zwar durch Ueberwindung der Scherfestigkeit in den Mantelflächen, und daß dann bei weiterem Zusammendrücken der Probe der Ring durch Keilwirkung gesprengt wird.

Ferner ist nun aus Druckversuchen an zylindrischen Proben, die in der Höhenrichtung aus einzelnen gleich dicken, übereinander liegenden Scheiben zusammengesetzt sind, Folgendes bekannt: Derartige Proben nehmen äußerlich die Tonnenform an wie unzerlegte Proben, d. h.

der Durchmesser der beiden Endscheiben nimmt am wenigsten, derjenige der mittelsten Scheiben am meisten zu. Trotzdem hat aber die mittelste Scheibe am Rande die größte Dicke bewahrt, während die Endscheiben trotz des kleinsten Durchmessers am Rande am stärksten zusammengepreßt sind. — Nimmt man die Scheiben auseinander, so zeigt sich, daß die beiden Endscheiben in der Mitte nahezu ihre ursprüngliche Dicke beibehalten haben, also plankonvex geworden sind, s. Abbildung 12. Die nächstfolgenden Scheiben sind dementsprechend konkav-konvex und nur die mittelste Scheibe, die von beiden Seiten gleichartig beansprucht wird, ist bikonvex geworden. — Ueberlegt man nun, welche Spannungen beim Entstehen dieser Formen im Material auftraten, so ergibt sich:

1. daß Streckung des Materiales der einzelnen Scheiben in der Querrichtung eintrat. — Entsprechend der Zunahme des Durchmessers waren die Querspannungen in der mittelsten Scheibe am größten. — Zu diesen Querspannungen treten nun

2. noch Biegungsspannungen, entsprechend der Tiefe, der konkaven Flächen auf der einen Seite und der Ueberhöhung der konvexen Fläche auf der anderen Seite. Die Tiefe und die Ueberhöhung sind verschieden groß, und die Umfangsflächen der Scheiben sind nicht senkrecht zu den Querschnittsflächen geblieben. Es sind also

3. auch noch Schubspannungen bei der Formänderung zur Geltung gekommen. Nur in den Endflächen und in dem mittelsten Querschnitt traten keine Biegungsspannungen auf.

Die angeführten Beobachtungen dürften zur Genüge beweisen, daß beim einwandfrei ausgeführten Druckversuch trotz gleichmäßiger Verteilung der Druckkraft über die Endflächen keine gleichmäßige Spannungsverteilung in der Probe besteht, daß vielmehr:

1. die in verschiedenen Abständen von den beiden Druckflächen gelegenen Querschnitte verschiedenartig beansprucht sind und

2. an verschiedenen Stellen desselben Querschnittes verschiedenartige und verschieden große Spannungen entstehen.

Innerhalb des Bereiches der Probenlänge, über den die Wirkung der Druckkegel sich erstreckt, herrschen in den einzelnen Querschnitten neben Querspannungen hervorragend Schubspannungen, während außerhalb des genannten Bereiches im wesentlichen nur Querspannungen auf Zerstörung des Materiales hinwirken. Hierbei sind die Schubspannungen in einem und demselben Querschnitt am stärksten in denjenigen Flächenteilen, die die Mantelflächen der Kegel bilden. — Das im Querschnitt innerhalb dieser Flächenteile gelegene Material kann nahezu frei von Querspannungen sein, jedenfalls sind diese Querspannungen klein gegenüber denjenigen außerhalb der Druckkegel.

Sobald nun die Fließgrenze auf Schub in den Mantelflächen der Kegel überwunden ist, dringen die letzteren in den Probekörper ein. Hierbei wird das außerhalb der Kegel gelegene Material von den Enden aus angestaucht, so daß es allmählich in die Druckflächen mit übergeht. Als Beispiel möge Abbildung 13 dienen, welche die Druckfläche einer zylindrischen Druckprobe aus Gußeisen zeigt. Es läßt die ziemlich scharf ausgebildete Grenze erkennen zwischen der ursprünglichen Druckfläche und dem Material, das ursprünglich außerhalb des Druckkegels gelegen war und infolge Anstauchens in die Druckfläche übergegangen ist. Dabei ist der Durchmesser der ursprünglichen Druckfläche fast unverändert geblieben.

Gerade diese letzte Beobachtung ist es, die mich zuerst zu der oben erwähnten Anschauung führte, daß das Material innerhalb der Druckkegel keine wesentliche Querdehnung erleidet und unter Umständen ganz frei davon sein kann. Ich glaube, daß diese Umstände gegeben sind in dem Verhältnis zwischen der Belastung, bei der die Quetschgrenze des den Druckkegel bildenden Materiales erreicht wird, und derjenigen Belastung, bei der die Schubbewegung, d. h. das Eindringen des Druckkegels einsetzt.

Die soeben gegebenen Erörterungen über den Verlauf der Zerstörungen beim Druckversuch und die hierbei auftretenden Materialspannungen und Formänderungen führen ohne weiteres zu dem Schluß, daß auch die Säulenenden innerhalb der Längen, über die sich die Wirkungen der Druckkegel erstrecken, am ungünstigsten beansprucht sind. Hiermit ist aber zugleich die Grundlage gegeben für die noch anzustellenden Betrachtungen darüber, daß auch die Säulen mit Querbewehrungen beim Druckversuch an einem Ende zu Bruch gehen.

Die Querbewehrungen sind, abgesehen von der Unterstützung der Längseisen, dazu bestimmt, die Quer-

dehnungen zu verhindern. Da ist es nun doch natürlich, daß sie dort die schwächsten Wirkungen ausüben werden, wo die Querdehnungen bei den unbewehrten Proben am geringsten sind, d. h. an den Enden der Säulen. Wenn nun aber, wie meine Erörterungen dargetan haben, wegen der verschiedenartigen Spannungsverteilung die Wahrscheinlichkeit des Bruches in halber Höhe an sich schon geringer ist als die des Bruches an einem der beiden Enden, so kann es nicht weiter befremden, daß auch die Querbewehrungen, eben weil sie an den Enden weniger wirksam sind als in halber Höhe, nicht imstande sind, einen Einfluß auf die Lage des Bruches auszuüben, d. h. den Bruch von den Enden mehr nach der Mitte hin zu verlegen. — Vorausgesetzt ist hierbei natürlich, daß die Bewehrung innerhalb der ganzen Säulenlänge gleichartig angeordnet ist. — Wenn nun die in meinem Bericht niedergelegten Messungsergebnisse, welche durch die älteren Versuche von Howard (1906) und durch die inzwischen veröffentlichten Versuche von Talbot (1908) volle Bestätigung finden, dargetan haben, daß die Querbewehrungen überhaupt erst bei höheren Belastungen die Querdehnung zu vermindern vermögen, so bleibt noch zu untersuchen, wie es möglich ist, daß die Querbewehrungen dann trotzdem eine beträchtliche Steigerung der Bruchfestigkeit herbeiführten. Wir haben hierbei von der Wirkung der Längseisen natürlich abzusehen, und lassen Sie mich daher meinen Betrachtungen zunächst eine Säule zugrunde legen, die keine Längseisen enthält, sondern lediglich mit einzelnen Ringen oder mit einer Spirale umschnürt ist. Ferner braucht die Betrachtung nach den gegebenen Erörterungen nur auf die Wirkung der Umschnürung an den Säulenenden sich zu erstrecken.

Entgegen der Anschauung von Talbot und Twestrees, daß die Bewehrungen erst in Wirkung treten, wenn die Bruchlast des reinen Betons erreicht ist, weisen die Versuche von Wayss & Freytag, bei denen sehr stark eingeknickte Säulen (Abbildung 14) selbst nach dem Abwickeln der Spirale noch transportfähig blieben, ohne zu zerfallen, darauf hin, daß die Zusammendrückbarkeit des Betons ohne Zerstörung durch die Umschnürung gesteigert werden kann. Ein durchschlagender Beweis wäre meines Erachtens hierfür nur dadurch zu erbringen, daß umschnürte Betonzylinder gleicher Zusammensetzung um verschiedene Beträge zusammengedrückt werden und dann nach Entfernen der Umschnürung an ihnen festgestellt wird, bei welcher Zusammendrückung die Zerstörung eingetreten ist. — Da nun der unmittelbare Beweis für die erhöhte Zusammendrückbarkeit zurzeit noch fehlt, will ich auf diese Frage nicht weiter eingehen, sondern wende mich der Erhöhung der Bruchfestigkeit der Betonsäulen durch die Querbewehrung zu. Daß sie tatsächlich besteht, ist durch die vorliegenden Säulenversuche zweifelsfrei nachgewiesen, und daher muß meines Erachtens die Querbewehrung imstande sein, die Entstehung des Druckkegels hintanzuhalten. — Um dies zu erklären, verweise ich zunächst auf die Versuche von Bauschinger, bei denen die Druckflächen der Proben nicht in ihrer ganzen Ausdehnung zur Lastaufnahme dienten, sondern nur Streifen dieser Flächen belastet waren.

Die Versuche ergaben Folgendes:

1. Die Bruchspannung des Materiales, bezogen auf die belastete Fläche, war größer, wenn nur ein Streifen der Endfläche beansprucht wurde, als wenn die ganze Fläche zur Kraftübertragung diente.

2. Lag der beanspruchte Streifen symmetrisch zur Endfläche (s. Abbildung 15a), so bildete sich unter dem Druckstück ein Keil aus, der die Probe der Länge nach spaltete und dessen Seitenflächen die gleiche Neigung zur Grundfläche hatten, d. h. die Grundwinkel α und β (Abbildung 15a) waren gleich groß.

3. Rückte der beanspruchte Streifen nach der Seite hin (Abbildung 15b), so nahm die Bruchspannung ab und der Grundwinkel α war kleiner als β , d. h. er war auf der Seite des geringsten Abstandes vom Rande der Endfläche der kleinere.

Eine Erklärung für diese dritte Beobachtung gibt Bauschinger leider nicht. Ich glaube sie darin finden zu sollen, daß der Druckkeil in solcher Form sich ausbildet, daß die Gleitwiderstände auf beiden Keilflächen gleich groß sind.

Unter der Annahme, daß die spezifische Schubfestigkeit des Materiales in allen Flächen die gleiche ist, ist der Gleitwiderstand bedingt durch den seitlichen Flächen- druck und durch den Gleitwinkel, derart, daß der Keilwinkel α oder β um so kleiner sein muß, je geringer der Flächendruck ist. Da der Probekörper unter dem Keil gespalten wird, so sind die Flächendrücke auf die beiden Keilflächen gegeben durch die Biegungswiderstände der

beiden Spaltteile. Diese Biegungswiderstände sind aber um so größer, je dicker der Spaltteil ist, und daher ist meines Erachtens auch infolge geringeren Flächendruckes der Keilwinkel α kleiner als β , wenn der belastete Streifen einseitig liegt, und $\beta = \alpha$, wenn er symmetrisch zur Endfläche angeordnet ist. — Im weiteren Verfolg dieser Betrachtungen über die Ausbildung der Keilwinkel erklärt sich nun auch die Beobachtung, daß die spezifische Bruchlast bei streifenweiser, symmetrischer Belastung der

der Pyramide oder des Kegels und veranlaßt meines Erachtens aus diesem Grunde die Steigerung der Bruchfestigkeit der Säule. Naturgemäß ist diese Wirkung bei Säulen mit Ring- oder Spiralumschnürung um so größer, je vollkommener die Umhüllung des Betons ist, also je enger die Ringe liegen. Ihre Wirkung wird dann, wie auch von anderer Seite bereits betont ist, dadurch erhöht, daß infolge geringerer Zugspannungen ihre Dehnung geringer ist und die Ringe weniger tief in den Beton

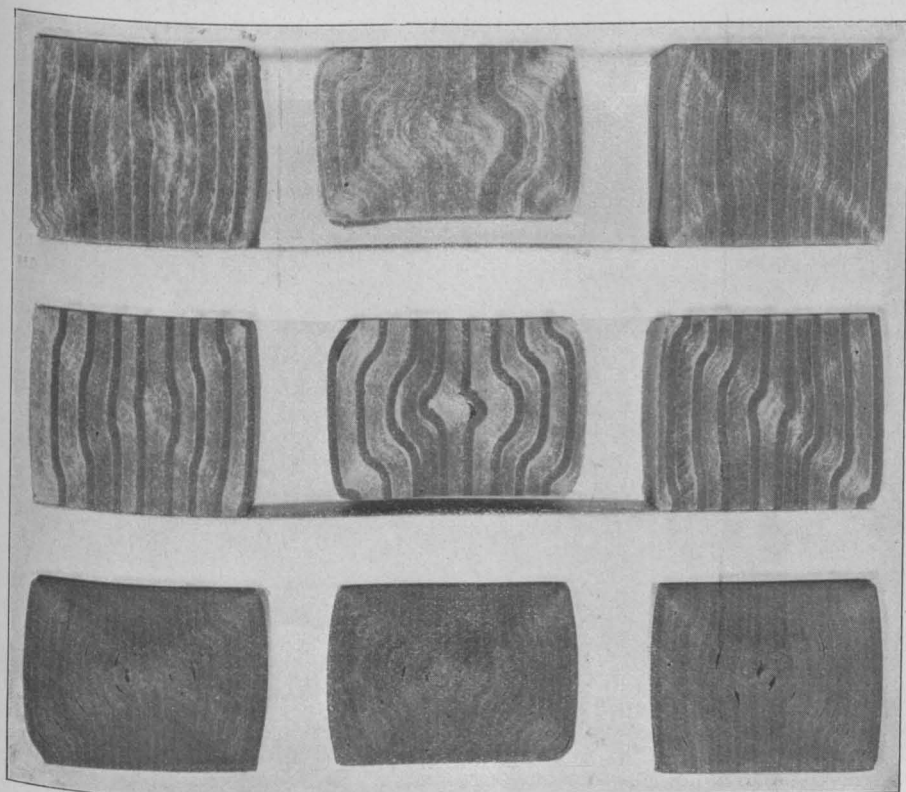


Abb. 9. Auftreten der Schubflächen (Pyramidenbildung) bei Versuchen mit Rohhaut-Proben.



Abb. 10. Stauchprobe aus Messing; Druckkegel und gesprengtes Ringstück.

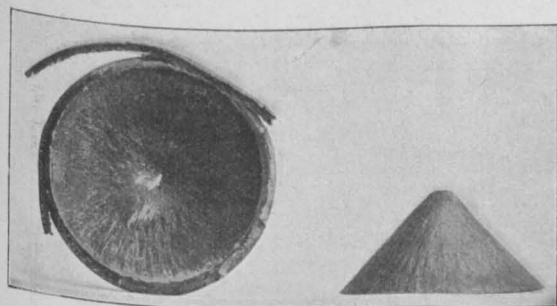


Abb. 11. Stauchprobe aus Messing; Druckkegel und nicht gesprengtes Ringstück.

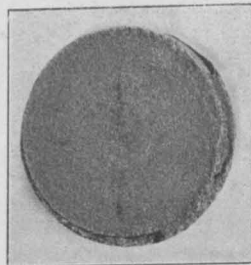


Abb. 13. Uebergang des Materials aus dem Mantel der Druckprobe in die Druckfläche durch Anstauchen nach dem Entstehen des Druckkegels.

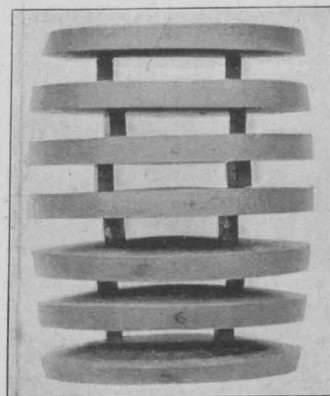


Abb. 12. Druckversuche mit einem aus 7 Scheiben gleicher Dicke bestehenden Zylinder (Blei).

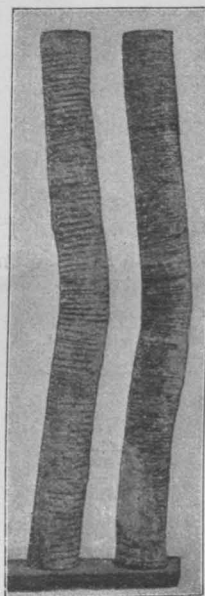


Abb. 14. Umschnürte Betonsäulen mit zusammenhängendem Betonkern nach dem Einknicken.

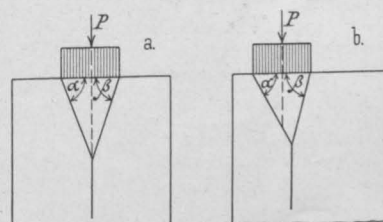


Abbildung 15.

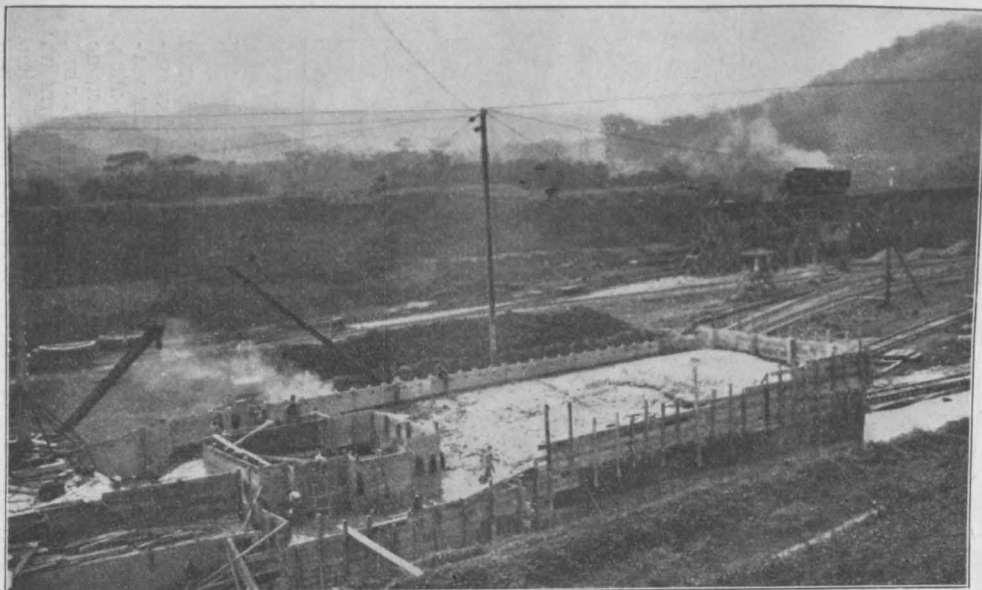
Endflächen größer ist als bei Belastung der ganzen Fläche, zwanglos damit, daß der Gegendruck auf die Flächen der Druckkeile im ersten Fall der größere ist.

Was für die Entstehung des Druckkeiles gilt, muß aber in analoger Weise auch für die Entstehung der Druckkegel oder Pyramiden bei Prüfung von Säulen maßgebend sein.

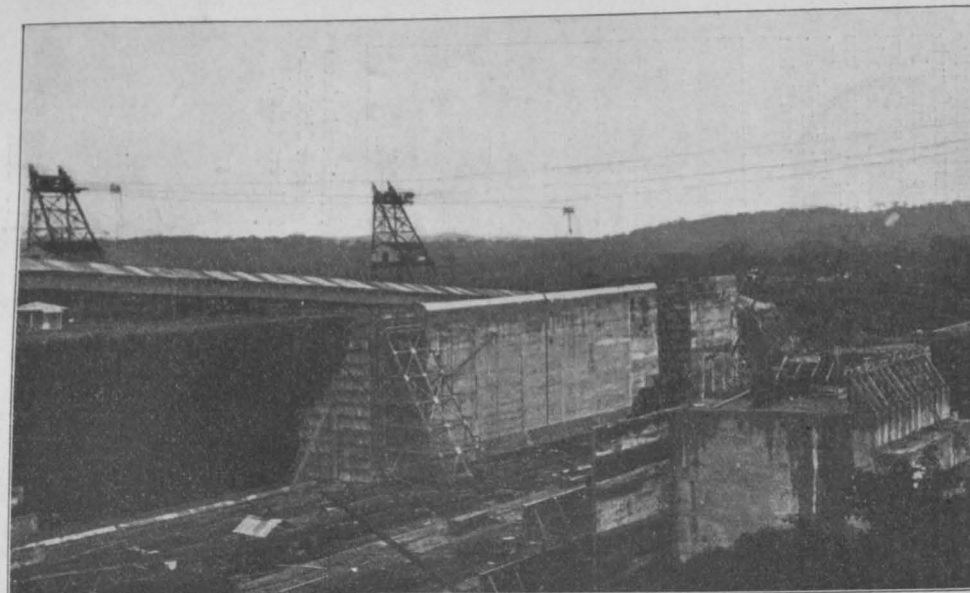
Wie durch die Querdehnungsmessungen nachgewiesen ist, hält die Umschnürung die Querdehnung, besonders bei Belastungen nahe der Bruchlast, zurück, und demgemäß steigert sie den Flächendruck auf die Seiten

sich eindrücken. Das Vollkommenste in dieser Beziehung wäre die Umhüllung mit einem Blechmantel.

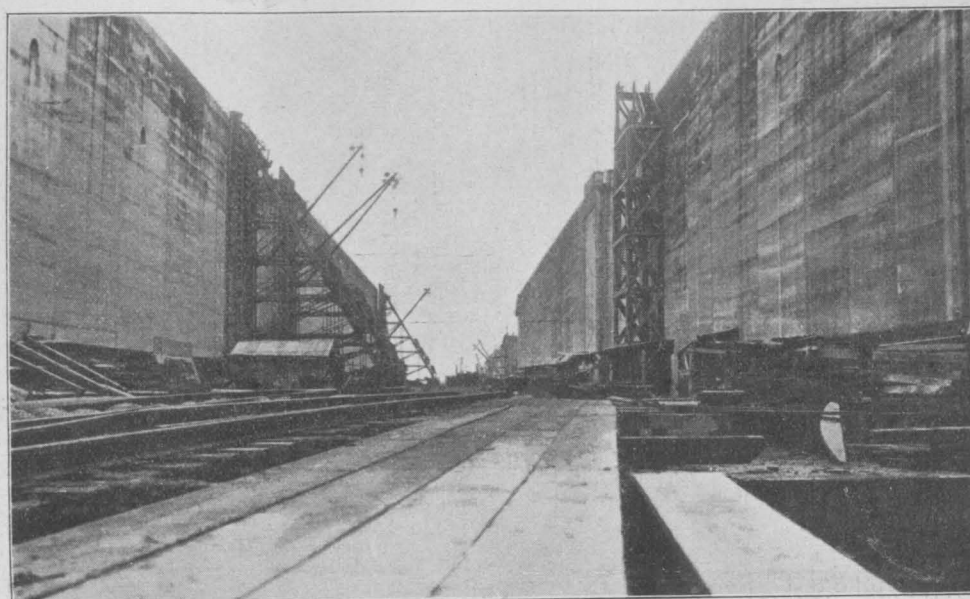
Diese Betrachtungen führen nun zu der Erwägung, ob es zweckmäßig und sachgemäß ist, bei Druckversuchen, welche die Unterschiede in der Wirkung der verschiedenartigen Bewehrungen erkennen lassen sollen, besondere Maßnahmen zu treffen, welche die normale Zerstörung der Säulen an den Enden verhindern. Probst hat diese Frage in einem seiner letzten Aufsätze verneint. M. E. ist bei ihrer Beantwortung im Auge zu behalten, daß es sich um Versuche handelt, die den praktischen



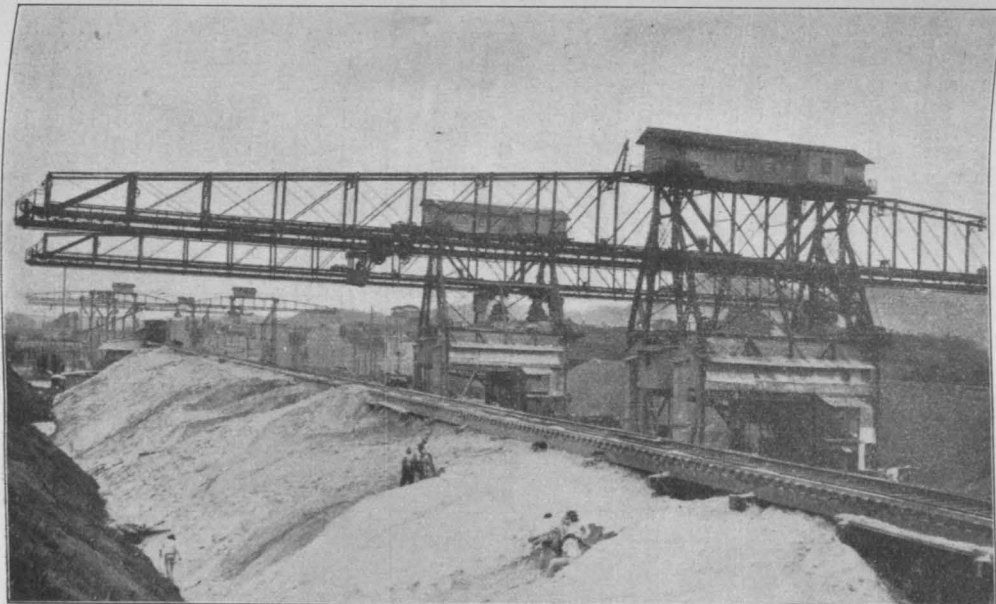
Abbildungen 17. und 18. Einbringung des weichen Betons in die Schalung und Betontransport.



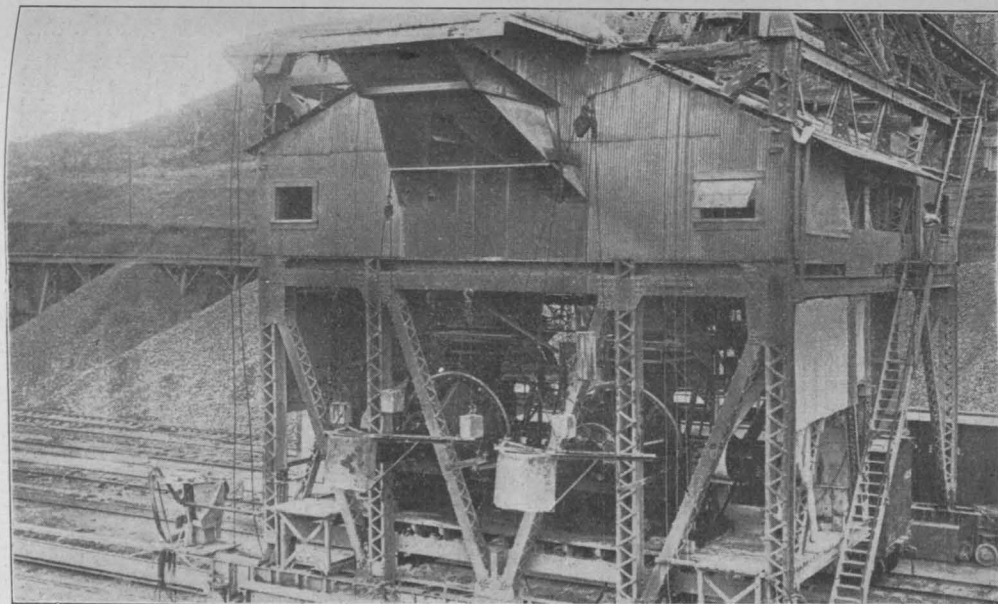
Abbildungen 15 und 16. Ausführung der Schleusen bei Gatun.



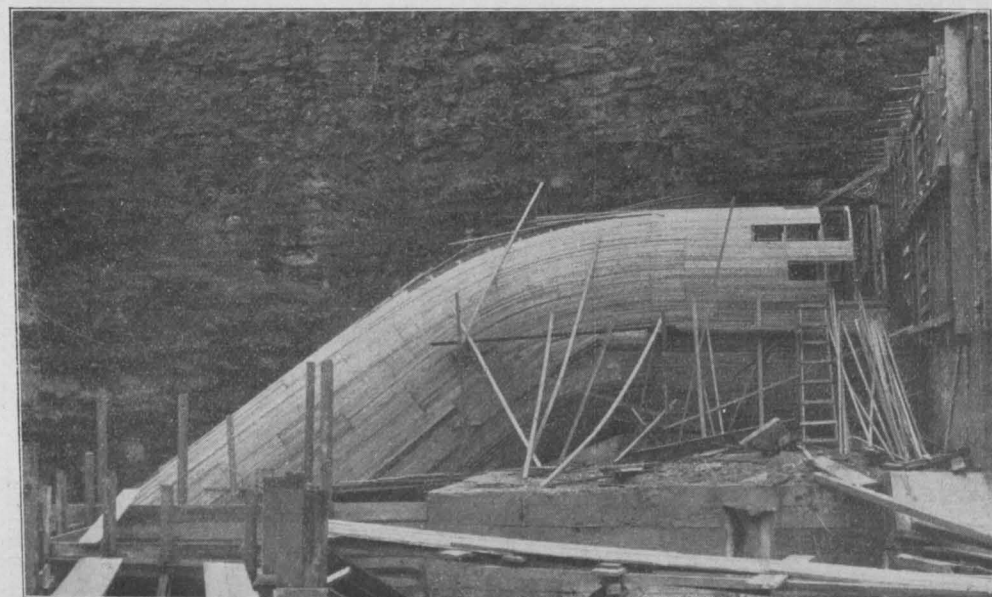
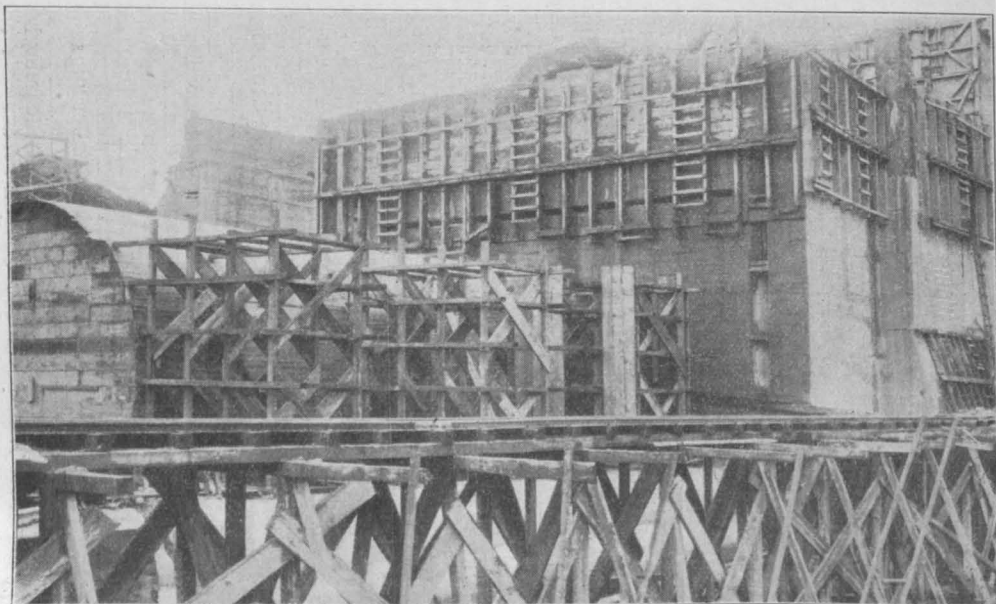
Einrichtungen für die Ausführung der Betonarbeiten an den Schleusen des Panama-Kanales. Nach Aufnahmen von Dr. Otto Schott in Heidelberg.



Abbildungen 19 und 20. Bermkrane und Schalgerüste beim Schleusenbau in Pedro Miguel.



Abbildungen 21 und 22. Beton-Mischanlage im Bermkran und Verschalung der Umläufe.



Einrichtungen für die Ausführung der Betonarbeiten an den Schleusen des Panama-Kanales. Nach Aufnahmen von Dr. Otto Schott in Heidelberg.

Wert der Bewehrungen dartun sollen. Daher ist auch die Entscheidung davon abhängig zu machen, wie die Anordnung der Säulen im Bauwerk getroffen zu werden pflegt. Nun dürften Säulen, bei denen die Längseisen in der Nähe desjenigen Säulenquerschnittes stumpf enden, in welchem die Säule an den von ihr zu tragenden Bauteil anschließt, nicht zur Ausführung kommen; man wird vielmehr die Längseisen entweder zur Ausbildung der nächstfolgenden darüber stehenden Säule senkrecht weiterführen oder seitwärts in den zu tragenden Teil ablenken. In beiden Fällen erhält das Säulenende durch die benachbarten Bauteile sicherlich eine gewisse Unterstützung, die m. E. auch die Anwendung verstärkter Säulen-Enden bei den Versuchen gerechtfertigt erscheinen läßt.

Die weitere Frage ist nun: Wie sollen die Verstärkungen angeordnet werden? Da möchte ich zunächst gegen die Anschauung mich wenden, daß es zweckmäßig sei, die Enden der Längseisen umzubiegen. Das Umbiegen erfolgt in der Absicht, eine bessere Druckübertragung auf die Eisen zu erzielen und um zu verhüten, daß die kleinen Betonzylinder zwischen den Endflächen der Längseisen und der Druckfläche zerstört werden und nun sprengend auf das umliegende Material wirken. Daß diese vermeintliche Sprengwirkung aber überhaupt eintritt, bestreite ich. Bei den im Amt ausgeführten Versuchen ist sie in keinem einzigen Falle eingetreten. Ihre Verteidiger wollen sie darauf zurückführen, daß die Längseisen schließlich so hohe Druckbelastungen auf die fraglichen kleinen Zylinder ausübten, daß letztere zerstört werden müßten. Diese Belastungen seien wesentlich größer als die Druckfestigkeit des Betons. — Man übersieht hierbei, daß es sich bei sachgemäßer Anordnung der Längseisen nur um Zylinder von geringer Höhe, also um Platten handelt, und daß die Druckfestigkeit der Platten ganz wesentlich größer ist als die Würzelfestigkeit, ja, daß plattenförmige Körper der fraglichen Art, selbst wenn sie frei zwischen ebenen Druckplatten geprüft werden, überhaupt nur an den Rändern ausbrechen. Die Zerstörung beschränkt sich auf den Ring mit dreieckigem Querschnitt, der außerhalb der beiden Druckpyramiden liegt, die bei Platten stark abgestumpft sind. — Biegt man die Enden der Längseisen um, so sind die Eisen beim Belasten der Säule infolge Zusammenpressens des Betons auf Biegung beansprucht, und die Gefahr des Ausknickens und der Sprengwirkung auf den Beton ist gesteigert. — Aus diesen Gründen erscheint es mir auf alle Fälle das Beste, wenn bei den Probensäulen die Längseisen an den Enden senkrecht zur Achse bearbeitet und bis nahe an die Endflächen der Säulen herangeführt werden.

Was nun die Form der verstärkten Enden betrifft, so unterlasse ich's, um bestimmten Vorschlägen hervorzutreten. Völlige Klarheit werden hier nur einschlägige Versuche bringen können. Ich möchte aber darauf hinweisen, daß es mir notwendig erscheint, daß der Ueber-

gang vom Säulenschaft zum -Kopf so gewählt wird, daß der Kopf die Querdehnung an diesen Stellen möglichst wenig behindert. Läßt man diese Maßnahme außer acht, so bleibt die Wirkung der Querbewehrung am Schaftende wie an den Enden der Säulen ohne Kopf weit aus am geringsten, und die Brüche erfolgen nun unmittelbar unter dem Kopf, und zwar wieder unter Entstehung der Druckpyramide an dieser Stelle. Die Versuche von Thullie lassen dies deutlich erkennen.

Bei meinen bisherigen Betrachtungen über die Wirkung der Bewehrungen habe ich den Einfluß unbeachtet gelassen, den die Dichte des Betons auf das Ergebnis ausübt. Die in meinem Säulenbericht niedergelegten Ergebnisse weisen darauf hin, daß dieser Einfluß nicht ohne Bedeutung ist. Gestatten Sie mir daher auch hierüber noch Einiges zu sagen. Auch diese Betrachtungen möchte ich wieder auf Erfahrungen aus anderen Versuchen stützen, und zwar wähle ich hierzu die Versuche von Hrn. Geh. Rat Martens über den Einfluß allseitiger Umschließung auf die Druckfestigkeit der Baustoffe verschiedener Dichte. Martens prüfte die Druckfestigkeit an sauber bearbeiteten zylindrischen Proben, indem er sie in einen starken stählernen Umhüllungskörper einführte, der mit einer Bohrung versehen war, deren Durchmesser genau gleich dem Durchmesser der Probe war. Ein Stahlstempel von demselben Durchmesser bewirkte den Druck. Hierbei ergab sich naturgemäß, daß vollkommen dichte Materialien, z. B. Blei, in der allseitigen Umschließung keine Formänderungen erleiden, während weniger dichte Stoffe so lange ihre Länge vermindern, als die Hohlräume im Material Zusammendrücken gestatten. Bei hinreichender Zahl und Größe dieser Hohlräume tritt auch bei allseitiger Umschließung der Probe deren Zerstörung ein. Z. B. zeigen sich an Holzproben ganz ähnliche Zerstörungerscheinungen wie bei frei zwischen den Druckplatten stehenden Proben. — Ich meine, dies ein Beispiel reicht hin, zu erklären, daß die Wirkung der Umfangsbewehrung bei Betonsäulen um so geringer ist, je geringer die Dichte des Betons ist, und daß die Zerstörung des Betons eintreten kann, bevor die Umschnürung selbst bei vollkommener Ausführung voll zur Wirkung kommt. Unter diesen Umständen kann es nicht befremden, wenn bei den im Amt unter Reihe I ausgeführten Versuchen die Wirkung der Querbewehrungen sich geringer erwies als bei den Versuchen der Reihe II. Es ist nachgewiesen, daß der Beton bei Reihe II dichter war und größere Querdehnungen zeigte als der Beton der Reihe I.

Meine Herren, ich bin am Schluß. Ich danke Ihnen für die Aufmerksamkeit, die Sie meinen Ausführungen geschenkt haben. Ich verbinde mit meinem Dank den Wunsch, daß die Versuche des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton sich gestalten mögen zu einem Meilenstein deutschen Wissens und vorurteilsfreien Forschens, zu einer Stütze für die Beurteilung und Ausbildung standsicherer Bauten und zu einer Säule für den statisch bestimmten Fortschritt des Wohlstandes Ihrer Industrie. —

Einrichtungen für die Ausführung der Betonarbeiten an den Schleusen des Panama-Kanales.

(Schluß aus No. 4.) Hierzu die Abbildungen Seite 44 und 45.



ir haben in No. 4 Seite 28 und 29 die Abbildungen, welche die allgemeine Anordnung der Baustelle und die besonderen Einrichtungen für die Aufstapelung der Materialien und die Verbauung des Betons bei den Schleusen von Pedro Miguel und Miraflores darstellen, bereits vorausgeschickt. Unter Beigabe einer Reihe von Aufnahmen auf der Baustelle, die z. T. übrigens noch auf die Baustelle bei Gatun zurückgreifen und die wir der Güte des Hrn. Dr. Otto Schott in Heidelberg verdanken, sei der Bauvorgang und die Leistungsfähigkeit der Baueinrichtungen zum Schluß noch kurz erläutert.

An beiden Baustellen kommen die Materialien Sand und Schotter zu Bahn an. Die beiden Baustellen von Pedro Miguel (Plan Abbildung 11 Seite 29) und Miraflores (Plan Abbildung 8 Seite 28 in No. 4) unterscheiden sich aber dadurch, daß erstere in einem engen Tal liegt, so daß die Stapelplätze für Sand und Schotter in der Achse der Schleuse an deren nördlichem (oberen) Ende untergebracht werden mußten, während bei letzterer Raum genug vorhanden ist, um die Stapelplätze beiderseits in der ganzen Länge der Schleusenbaugrube anzuordnen. Das bietet den Vorteil, daß hier ein Längstransport des Betons fortfällt. Wie die schon erwähnten Lagepläne und die Querschnitte durch die Lagerplätze Abbildung 10 und 13 Seite 28 u. 29 erkennen lassen, dienen zur Beschickung der Lagerplätze hölzerne Schüttgerüste, die sich bis zu 9,5 m Höhe erheben und auf Rampen mit Steigung bis 15% durch die Transportzüge erstiegen werden, die auf

normalspurigen Gleisen laufen. Das Schottermaterial wird bei der Entleerung nach innen, der Sand nach außen abgekippt. Die Lagerplätze vermögen soviel Sand und Schotter aufzunehmen, daß der Betrieb an 17 je 8 stündigen Arbeitstagen auch ohne neue Zufuhr aufrecht erhalten werden kann.

Bei Pedro Miguel sind die beiden Vorratshäufen in 700 m Entfernung von Mitte zu Mitte angeordnet und in der Mitte zwischen ihnen bewegen sich 2 sogen. Bermkrane, die mit ihren festen Auslegern von je rd. 46 m Länge nach rechts und links die Lagerplätze überspannen und mittels Laufkatzen und Selbstgreifern von 1,9 cbm Fassung das Material aus den Stapeln entnehmen und den in dem Unterbau der Bermkrane eingebauten Betonmischmaschinen zuführen. Die Krane bewegen sich auf 2 normalspurigen Gleisen, die in 15,25 m Entfernung liegen.

Ueber den 2 Mischmaschinen jedes Kranes (Kubusmischer von 1,5 cbm Fassung und 75 cbm Stundenleistung) sind Trichter von 4,5 bzw. 9,2 cbm Fassung eingebaut zur Aufnahme von Sand bzw. Schotter, die ihren Vorrat in Meßgefäße und durch diese an die Mischmaschinen abgeben. Der Zement wird den Mischmaschinen auf einem besonderen Gleise zugeführt, die Fässer bzw. Säcke werden mit Aufzug gehoben und ihr Inhalt wird auf einer über den Mischmaschinen angeordneten Plattform gelagert, um dann ebenfalls durch Meßgefäße den Maschinen zugeführt zu werden. Wasser wird in den Mischer ebenfalls in abgepaßten Mengen eingelassen, und das fertige Mischgut fällt dann in Kübel, die auf schmalspurigen

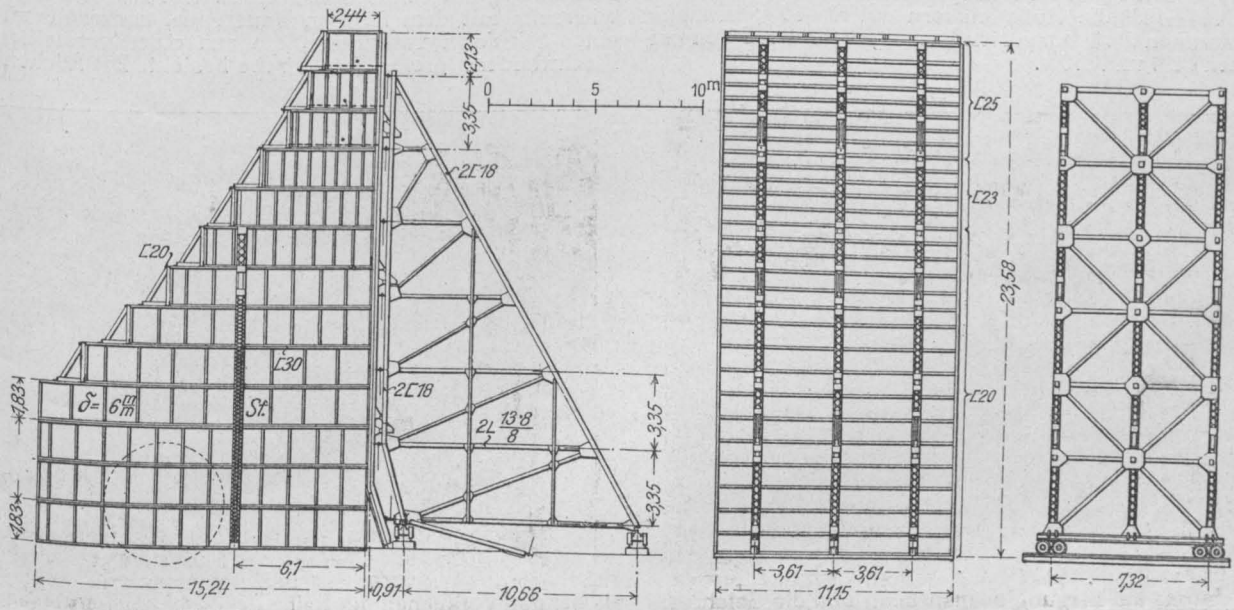
Plattformwagen neben dem Mischer vorbeigeführt werden. Diese Wagen werden zu je 2 verbunden mittels Lokomotive auf den Schmalspurgleisen in der Achse der beiden Schleusen an die Kammerkrane herangebracht, die von ihnen den Beton entnehmen.

Die Berrickrane werden, ebenso wie alle anderen maschinellen Einrichtungen auf der Baustelle, elektrisch angetrieben, und zwar mit Gleichstrom von 550 Volt Spannung. Erforderlich sind 65 PS. zum Heben der Last, 21 PS. zum Verfahren der Laufkatze. Mit dem ersten Motor wird auch das Verfahren der Krane mit Hilfe eines sich auf Winde aufwickelnden Stahlseiles besorgt. Für die Mischmaschine ist ein 40pferdiger, für den Zement-Aufzug ein Motor von 10 PS. erforderlich. Die Geschwindigkeit für die Lasthebung ist auf 55, für das Senken auf 92, für das Verfahren der Katzen auf 138 und für die Längsbewegung des ganzen Kranes auf 8 m in 1 Minute bemessen. Die Motore sind sämtlich in dem auf dem

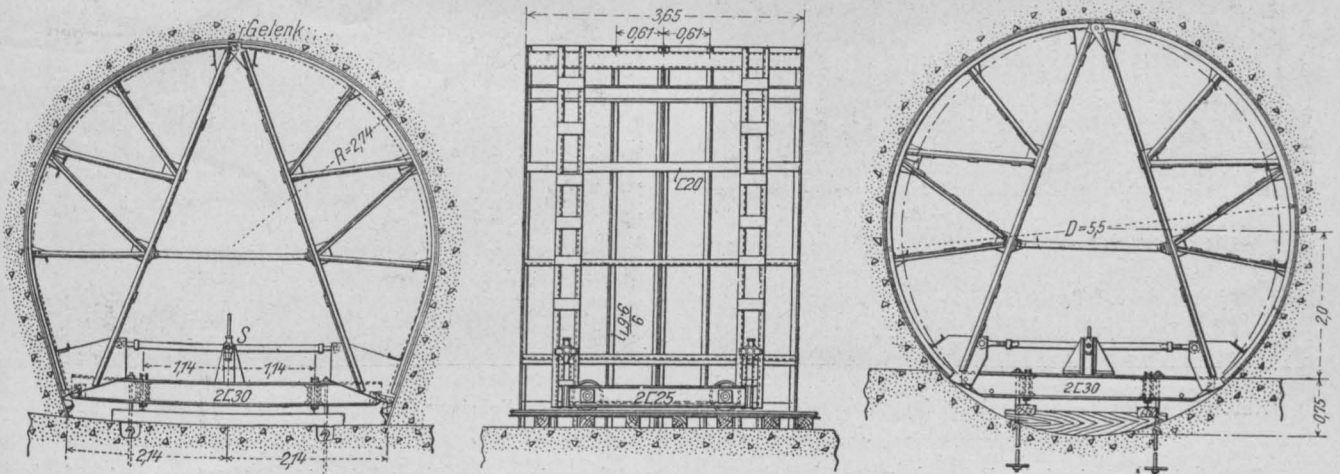
schon vorher die Schleusenböden eingebaut wurden, so daß die Gerüste auf diesen Aufstellung finden konnten.

Die Kübel werden von den Laufkatzen der ebenfalls fahrbaren Kammerkrane abgehoben (vergl. Querschnitt Abbildung 14 Seite 29 in No. 4 und das obere Bild auf der Beilage zu No. 3), die dafür ihre leeren Kübel auf die Züge absetzen, die dann durch das Gleis für leere Wagen zurück zu den Mischmaschinen laufen. Von den wie die Bermkrane ganz in Stahl gebauten Kammerkranen sind in jeder Schleusenbaugrube 2 vorhanden, die je 1 Laufkatze zur Hebung und Bewegung der Betonkübel besitzen.

Erforderlich werden für diese Krane ein 47PS. Motor zum Heben der Last, ein 21 PS. Motor zum Verfahren der Katze, zum Verfahren des Kranes ein besonderer Motor von 15 PS. Auch hier hat der Führer seinen Platz auf der Laufkatze. Die Bewegungsgeschwindigkeiten für die verschiedenen Mechanismen entsprechen denjenigen bei den Bermkränen.



Abbildungen 25 bis 27. Fahrbare Verschalungsgertüste für die Schleusenmauern in Gatun.



Abbildungen 28 bis 30. Fahrbare und zusammenklappbare Formen für die Umläufe in Gaten.

Kran errichteten Maschinenhaus untergebracht, der Führerstand befindet sich jedoch an der Laufkatze und es werden von dort aus auch alle Bewegungen geleitet. Alle Motore sind mit Bremsen versehen, die zum Teil selbsttätig wirken.

Die Mischer von 75^{cbm} Leistung in 1 Stunde verbrauchen in dieser Zeit rd. 98^{cbm} Sand und Schotter (im Verhältnis 1:2). Jeder Kran kann aber in 1 Stunde bis 114^{cbm} Sand und Schotter aus den Vorratshaufen entnehmen und in die Fülltrichter abgeben, ist also mit allen Zeitverlusten für das Verfahren vollauf in der Lage, seine beiden Mischmaschinen zu bedienen.

Wie schon erwähnt, fällt der fertige Beton in Beton-Kübel von je 1,5 cbm Fassung, die auf den beiden Plattformen jedes Betonzuges so aufgestellt sind, daß beide Mischmaschinen gleichzeitig entleeren können. Auf einer Rampe mit 25% Steigung werden dann die Züge durch leichte Lokomotiven von der höher gelegenen Mischstelle den Schleusenbaugruben zugeführt, in denen übrigens

Die Leistung der Krane entspricht derjenigen der 4 Mischmaschinen, es können also 300 cbm/Stunde eingebaut werden. Die mittleren Kosten für 1 cbm eingebauten Beton stellten sich (einschl. aller Nebenkosten, auch der anteiligen Verwaltungskosten der Kanalstrecke) nach dem Bericht der Kanalkommission bis 30. Juni 1910 auf rd. 31,85 M.

An der Baustelle von Miraflores werden dieselben Kammerkrane benutzt wie in Pedro Miguel, die Berrickrane sind aber etwas anders gebaut. Anstelle des inneren festen Kragarmes (vergl. Querschnitt Abbildung 10, Seite 28 in No. 4) ist hier ein bis über die Innenkante der äußeren Schleusenmauer reichender 44 m langer beweglicher Arm vorhanden, der sowohl nach oben um 10° und unten um 15° als auch seitlich um je 7,6 m ausschlagen kann. Jeder Kran besitzt außerdem nur eine Mischmaschine mit zugehörigen zwei Fülltrichtern. Der Beton wird hier in Kübel entleert, die, da der Längstransport fortfällt, am Berrickran selbst befestigt sind und mit Laufkatze zum Ende des beweglichen Armes bewegt werden

können. Zur Abgabe des Betons an die Laufkatze des Kammerkranes dient eine auf dem fertigen Beton der Schleusenmauer aufgestellte, transportable Schüttvorrichtung, bestehend aus Fülltrichter mit Schüttrinne. In ersteren entleert der Betonkübel des Bermkranes und aus letzterer füllt sich der Betonkübel des Kammerkranes.

Die maschinelle Einrichtung entspricht im übrigen der früher beschriebenen Ausführung, nur kommt ein 47 PS. Motor hinzu, der den beweglichen Ausleger bedient, gleichzeitig auch zum Verfahren der Katze bestimmt ist. Für das Heben des Kübels ist ein zweiter 47 PS. Motor vorgesehen. Es sind 4 solcher Kammerkranen vorhanden, die ohne Verschiebung je 15 m Mauerlänge bedienen können. Die Höchstleistung der 4 Krane beträgt täglich 600 cbm.

Der Beton hat in Pedro Miguel einen größten Weg von 810 m zum Südende der Schleuse und einen kürzesten Weg von 110 m zum Nordende derselben zurückzulegen; in Miraflores stellt sich die Transportweite für die Mittelmauer auf 135—105, die Außenmauern auf 90—65 m; in Gatun schwanken die Transportentfernungen für den Beton zwischen 1420 und 570 m.

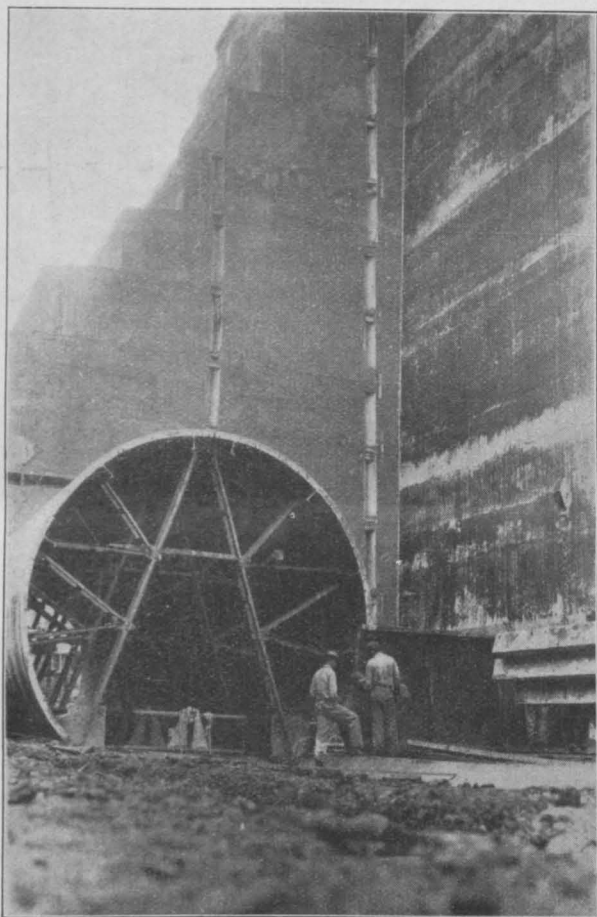


Abb. 23. Verstellbare Eisenform für die Einschaltung der Umlaufkanäle. (Ausführung der Gatun-Schleuse.)

Zum Schluß noch einige Bemerkungen über die Konstruktion der Schalungen*). In Pedro Miguel und Miraflores hat man Holz verwendet. Wie die Abbildungen 17 und 20 zeigen, sind die Schalungen in Längen von rd. 4,6 m zu 2,45 m Höhe durch senkrechte, nach unten verlängerte Aussteifungshölzer miteinander zu festen Platten verbunden. Durch vorher einbetonierte Bolzen werden die Versteifungshölzer an dem unteren fertigen Beton befestigt, dann die Platten durch Zugstangen verbunden. Dann kann wieder eine Schicht Beton eingebracht werden. Die Schalungen werden so stückweise mit hochgenommen, die Bolzen, deren Muttern im Beton stecken bleiben, wieder gewonnen. Die Schalungsplatten gestalten etwa eine zwölffache Verwendung. Auch die Umläufe sind hier mit Holz, an den komplizierteren Stellen, wie Abbildung 22 zeigt, mit Latten eingeschalt.

In Gatun hat man dagegen transportable Stahlformen für die Schleusenmauern, zusammenlegbare Stahlformen für die Umlaufkanäle verwendet. Vergleiche hierzu die

untere Abbildung auf der Bildbeilage zu No. 3, die Konstruktionszeichnungen Abbildungen 25—27 und 28—30 auf Seite 47 und die Aufnahmen Abbildungen 23 und 24.

Die Schleusenmauern sind hier in Abschnitten von 11 m zusammen eingeformt. Für die Verschalung der lotrechten Innenwände dienen fahrbare Gerüste, die auf der Innenseite eine durch wagrechte C-Eisen und 3 senkrechte Träger versteifte 8 mm starke stählerne Schalungsplatte von der vollen Mauerhöhe tragen. Die Schalungsplatten sind mit Knaggen an den Gerüsten aufgehängt und mit Schraubenspindeln gegen die Gerüst-Binder abgesteift. Die Gerüstwagen laufen auf einem Gleis von 10,66 m Spur, während der Arbeit werden sie durch kleine Streben gegen die Betonsohle der Schleuse abgestützt.

Die abgetreppte Hinterseite der Schleusenmauer ist in Höhe von je 1,83 m geteilt. Die Formen bestehen aus 11 m langen, der Absatzhöhe entsprechenden Blechträgern mit glatter Vorderseite, nach hinten mit Streben, die sich auf den unteren Absatz stützen. Die Träger werden einerseits mit dem fertigen Mauerende, andererseits mit einer Stirnform verbunden, die aus einer versteiften Blechwand mit großer Mittelstrebe besteht. Die Rücken-

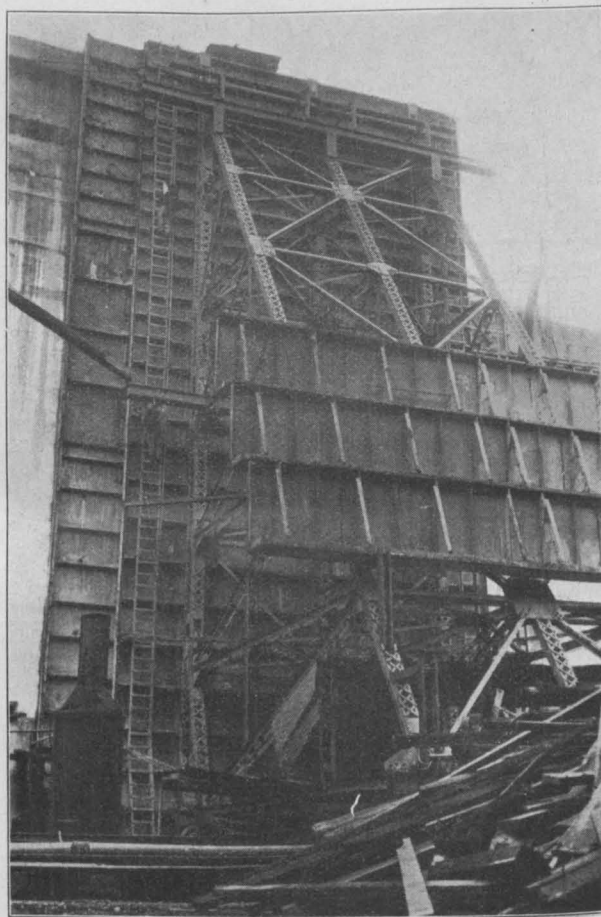


Abb. 24. Fahrbare Schalungsgerüste in Eisen für die Schleusenwände.

und Innenform um diese Stirn-Verschalung werden fest miteinander verbolzt.

Die Lehren für die großen Umlaufkanäle sind in der in Amerika beliebten Weise ebenfalls fahrbar und außerdem um ein oberes Gelenk zusammenklappbar, sodaß sie leicht aus dem fertigen Kanalstück herausgezogen werden können. Die Formen haben 3,65 m Länge. Die Konstruktion geht aus den Abbildungen 23 und 28—30 zur Genüge hervor.

So ist bei der Ausführung der umfangreichen Betonierungsarbeiten durchweg ein möglichst rascher, die Menschenkraft möglichst ausschaltender Bauvorgang vorgesehen, der sowohl in der Gesamtdisposition wie in der Durchführung der Einzelheiten beachtenswert und lehrreich ist.

Fr. E.

Inhalt: Versuche mit Betonsäulen. (Schluß). — Einrichtungen für die Ausführung der Betonarbeiten an den Schleusen des Panama-Kanals. (Schluß). —

Verlag der Deutschen Bauzeitung, G. m. b. H., in Berlin.
Für die Redaktion verantwortlich: Fritz Eiselen in Berlin.
Buchdruckerei: Gustav Schenck Nachflg. P. M. Weber in Berlin.

*) Vergl. auch „Engineering Record“ 1909 (30. Oktober), S. 488 ff.